

Title	光ファイバーを通しての光分子飛行時間測定による蛍光分光
Author(s)	渡辺, 純二; 木下, 修一
Citation	大阪大学低温センターだより. 1985, 52, p. 6-9
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/12114">https://hdl.handle.net/11094/12114</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

# 光ファイバーを通しての光子飛行時間測定による 蛍光分光

理 学 部 渡辺純二, 木下修一 (豊中4147)

## 〔はじめに〕

最近の光ファイバーの製造技術の進歩により、良質のファイバーが比較的容易に実験室でも手に入るようになってきた。今回は、この光ファイバーを分光素子として用いた蛍光の分光法<sup>1)</sup>について報告したい。この分光法では分光器を必要とせず、またファイバーは細く、しかも曲げられるので、これは分光器の配置が幾可学的に困難な極低温下の実験や人体中での分光などに適している。また、広い波長領域のスペクトルを同時に測定できるので、OMA (オプティカルマルチチャネルアナライザー) に代わる働きをさせることもできる。この分光法の原理は、光ファイバー中を伝播する光の速度が波長により異なるという点に基づいており (例えば、熔融石英でできた長さ 1km の光ファイバー中を 500 nm と 600 nm の光が通過する時間の差は約 40 ns になる)、試料をパルス光で励起し、試料からの発光をファイバー中に通し、出てくる蛍光パルスの飛行時間分布を測定することにより蛍光スペクトルを得ることができる。我々は光源としてモード同期アルゴンレーザーを用い、非常に高感度な時間相関単一光子計数法<sup>2), 8)</sup>を組み合わせ、弱い発光でも迅速にそのスペクトルが測定できることを確かめた。試料として用いたのは、生体中に入ると癌細胞に集まりやすく、また、その際に特異な蛍光スペクトルを示すことが知られているヘマトポルフィリンという色素である。

## 〔測定装置〕

図 1 に測定システムを示す。モード同期アルゴンレーザーからの出力光 (波長 514.5 nm, パルス幅約 150 ps) の繰り返し周波数は 81 MHz と高すぎるので、超音波ディフレクターで約 5 MHz に落としパルス間隔を約 200 ns にした。試料からの発光は顕微鏡の対物レンズ (×10) で集光して光ファイバーの入口に焦点を結ばせ、出口から出てきた蛍光を再びレンズで集光し光電子増倍管 (浜松ホトニクス R928) の光電面に結像させた。この様に光電面上に像を結ばせたのは、用いる光電面の面積を小さくすることにより、光電子増倍管内での電子の飛行時間を一

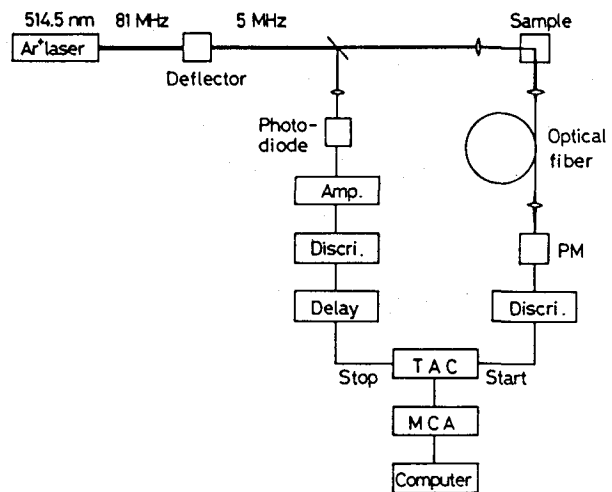


図 1

定にさせるためである。また、ここで用いた光ファイバーは長さが1,045m、コアとクラッドの直径がそれぞれ50 $\mu$ m, 125 $\mu$ mのグレーディッド・インデックス多モード石英ファイバーである。一方、励起光パルスの一部は半透鏡で分けてフォトダイオードで検出する。光電子増倍管からの単一光子によるパルスとフォトダイオードからのパルスの時間差はTAC（時間波高変換器）で測定する。TACは二つのパルスの時間間隔に比例した電圧パルスを出力する装置で10ps以下という高い時間分解能をもっている。TACの出力はMCA（多チャンネル波高分析器）に入力し、その波高分布を求める。この測定を繰り返し行なっているとMCAには光電子増倍管に入ったフォトン検出された時間の分布が得られる。ヘマトポルフィリンから発せられた時は蛍光寿命程度の時間的ひろがりしかもたなかった蛍光は光ファイバーを通過する中で短い波長の成分が徐々に消えてくるために、ファイバーを透過した後は蛍光スペクトルを反映した時間分布をもつことになり、これがMCA中に記憶されるというわけである。

### 〔光ファイバー中のパルスの伝播特性〕

光ファイバー中の光パルスの伝播は物質分散と多モード分散という二つの分散により特徴づけられる。前者は屈折率の波長依存性に基づくもので、ファイバー分光法はこの性質を用いたものである。後者はファイバー内のモードによる光路長の変化を表わし、この分光法の波長分解能を示す重要な要素となる。そこで、スペクトル幅の狭いアルゴンレーザー光をファイバーに通し、長さ1mと1,045mの二本のファイバーについて時間幅の広がり測定してみた。その結果を図2に示す。1mのファイバーは長さが十分に短いので、この広がり励起レーザー自身のパルス幅と検出器の時間応答により決まっていると考えられる。これに対し、1,045mのファイバーの方が時間幅が広いのは多モード分散によるため、これによる時間幅の広がり290psになることがわかった。この広がり波長幅に換算すると約1nmにすぎず、今回の実験のように幅広いスペクトルをもつものに対しては無視できる。

### 〔ヘマトポルフィリンの蛍光スペクトル〕

ファイバー分光法により測定した $10^{-6}$ Mのヘマトポルフィリンのジオキサン溶液における蛍光スペクトルの測定結果を図3に示す。横軸の時間0は514.5nmの波長に対応している。励起光の平均出力は2mW、積算時間は30秒である。横軸の波長はいろいろな波長のレーザーパ

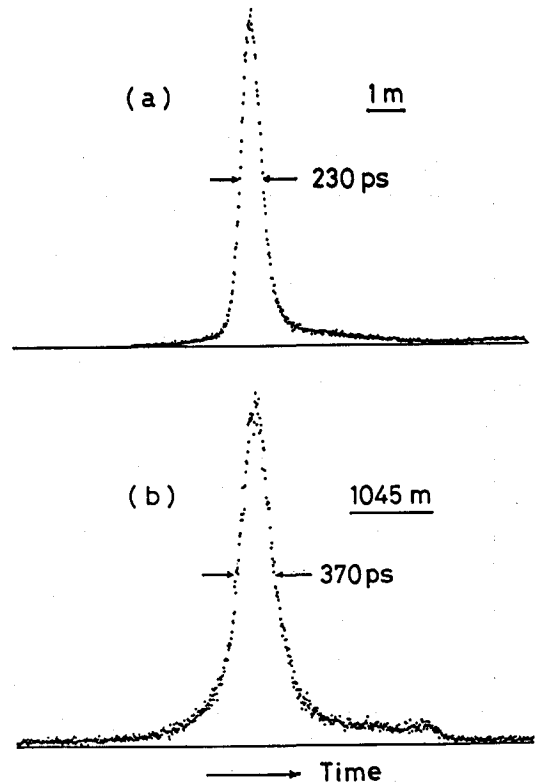


図2

ルスのファイバー内の飛行時間から求めた値で、熔融石英の屈折率のデータから計算した値とも極めて良く一致している。光ファイバーの透過損失は短波長側でかなり大きいので、タングステンランプで測定した透過率を用いて補正したのが図4 a)のスペクトルである。

このスペクトルは分光器で測定した蛍光スペクトル(図4 b)に非常によく似ていることがわかる。この様に、波長掃引をすることなく、弱い励起でも短時間でS/N比の高いスペクトルが得られることが確かめられた。

細かい点に触れると、図4のa)とb)とを比べるとこの方法で測定したスペクトルの方が約7nmブルーシフトしていることがわかる。ヘマトポルフィリンのジオキサン溶液の場合蛍光寿命が1.8nsあり、指数関数的に減衰する蛍光の時間プロフィールが、時間的に遅れる波長成分即ち短波長側と重なって、この様なずれを起したものと説明される。実際、デコンボリューションによる計算により、実験誤差の範囲内で波長のずれを補正することができることも確かめられた。

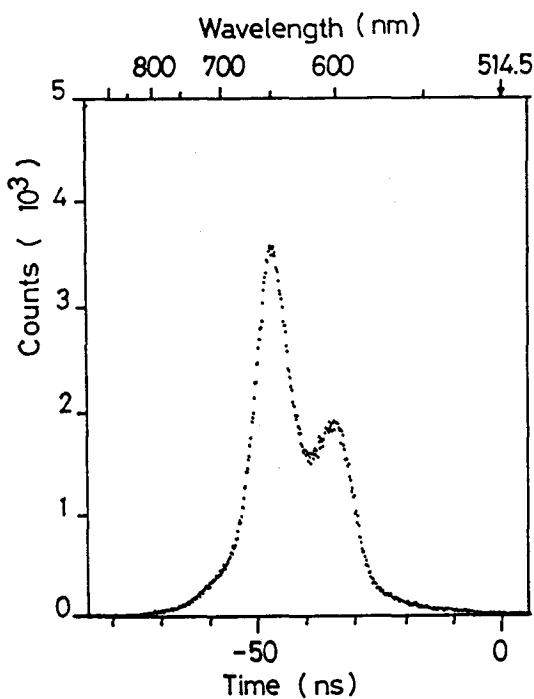


図3

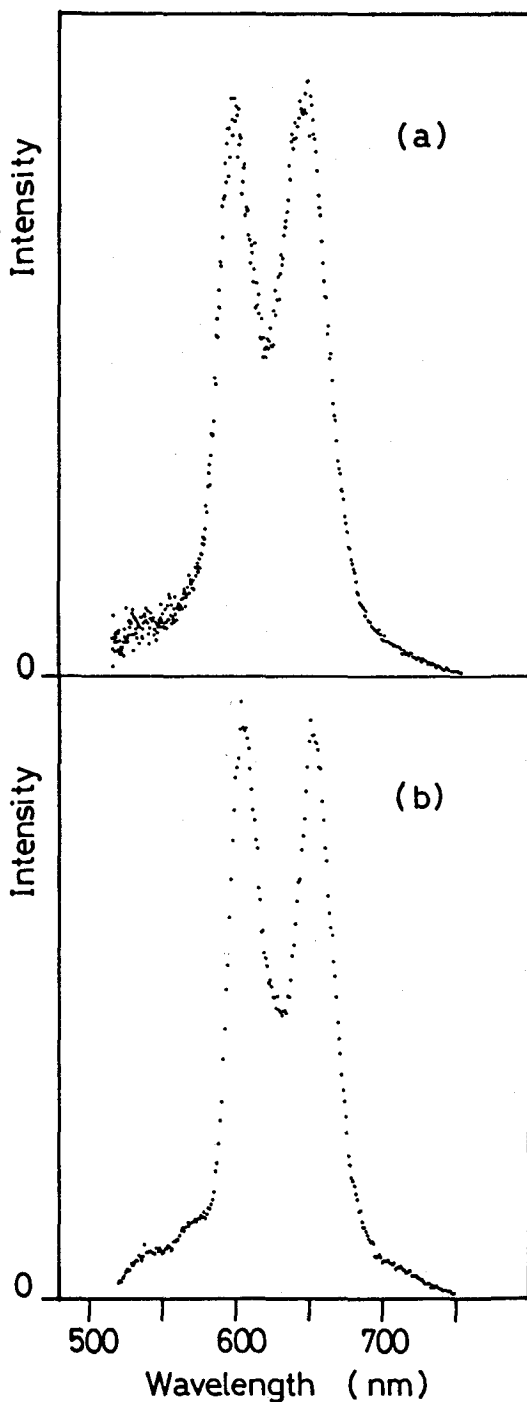


図4

以上、大ざっぱにファイバー分光による我々の実験結果を報告した。この分光法は、精密な分光というよりはモニターとして時々刻々変化していくものについて、その場所で測定したい場合には特に有効と思われる。皆様方のアイデアをお待ちしたい。

なお、実験に用いた光ファイバーは基礎工の末田研究室よりお借りしたものである。ここに感謝する次第です。

#### 〔参考文献〕

- 1) J.Watanabe, S.Kinoshita and T.Kushida: *Jpn.J.Appl.Phys.*24 (1985) 761.
- 2) S.Kinoshita and T.Kushida: *Rev. Sci. Instrum.* 53 (1982) 469.
- 3) T.Kushida and S.Kinoshita, in *Semiconductors Probed by Ultrafast Laser Spectroscopy*, edited by R.R. Alfano (Academic Press, New York, 1984), Vol.2, p.483.